PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 7. 11. November 1899. 1. Jahrgang.

INHALT.

Originalmitteilungen.

C. Dieterici, Zur Theorie des kritischen Zustandes. S. 73.

J. Mooser, Diamagnetismus der Medien des Auges. S. 75.

K. Schreber, Das Ostwaldsche Masssystem und die Abhängigkeit der Oberflächenspannung vom elektrischen Potential. S. 75.

Th. Des Coudres, Methode, die Angaben elektrodynamischer Wattmeter unabhängig zu machen von der Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung. S. 76.

Vorträge etc.

L. Boltzmann, Über die Entwickelung der Methoden der theoretischen Physik in neuerer Zeit. (Fortsetzung.) S. 77.

Vorträge und Discussionen von der 71. Naturforscherversammlung zu München:

8. A. Binz und Aug. Hagenbach, Über reduzierende Wirkung elektrolytisch abgeschiedener Metalle. S. 80.

Personalien. S. 80.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Zur Theorie des kritischen Zustandes.

Von C. Dieterici.

Die Beobachtungen, welche im Laufe des letzten Jahrzehntes über das Volumen der verschiedenen Stoffe im kritischen Zustand von Cailletet und Mathias, von Amagat und, in umfassendster Weise, von Ramsay und S. Young ausgeführt sind, lassen einen Satz als experimentell ziemlich genau zutreffend hervortreten, dass, wie es S. Young zuerst ausgesprochen hat, für viele Substanzen die thatsächlich beobachtete kritische Dichte 3,75 mal so gross ist, als die 'ideale', diejenige, welche sich aus dem idealen Gasgesetze $p \cdot v = R\vartheta$ für den kritischen Zustand berechnet. Das Verhältnis 3,75 trifft mit einer Genauigkeit von höchstens $\pm$ 2 Proz. bei allen Kohlenwasserstoffen, ihren Halogenderivaten, Zinnchlorid, CCl_4, Äther zu; bei den 10 höher konstituierten Estern ist nach Young dieses Verhältnis etwa 3,9, also um etwa 4 Proz. höher, bei den Alkoholen um etwa 7 Proz. grösser. Ausnahmen bilden nur Essigsäure und Methyl-Alkohol, bei denen wohl Änderungen des Molekulargewichtes wahrscheinlich sind. Die Beobachtungen von Amagat liefern für CO_2 das Verhältnis der thatsächlichen zur idealen kritischen Dichte zu 3,62, ebenso Cailletet und Mathias' Beobachtungen an SO_2. Die älteren Beobachtungen an O_2 und N_2 geben Zahlen 3,8 und grösser. Hier liegen nur direkte Ablesungen des kritischen Volumens vor und keine Isothermen unterhalb derselben, so dass man für diese Stoffe noch nicht die Methode von Cailletet und Mathias zur Ermittelung der kritischen Dichte anwenden kann. Im ganzen ergeben also die Thatsachen, dass das Verhältnis des idealen kritischen Volumens zum thatsächlichen bei allen Substanzen, bei denen wir keine Veranlassung haben, Polymerisationen oder Dissociationen anzunehmen, etwa 3,7 oder höher ist.

Es fragt sich, ob die Theorie der Zustandsgleichung von van der Waals dieses Verhältnis berechnen lässt.

In der allgemeinen Form derselben

$$(p + \pi)(v - b) = R\vartheta$$

nimmt van der Waals für den Kohäsionsdruck π die Gesetzmässigkeit

$$\pi = \frac{a}{v^2}$$

an, worin a eine Konstante ist.

Betrachtet man die Volumenkorrektion b als konstant, so folgen die drei klassischen Gleichungen von van der Waals

$$v_\varkappa = 3b; \quad p_\varkappa = \frac{a}{27 b^2}; \quad \vartheta_\varkappa = \frac{8a}{27 R b}.$$

Dividiert man die dritte durch die zweite, so fällt a heraus, und ersetzt man b durch $\frac{1}{3} v_\varkappa$, so kommt

$$\frac{R\vartheta_\varkappa}{p_\varkappa} = \frac{8}{3} v_\varkappa,$$

oder da $\frac{R\vartheta_\varkappa}{p_\varkappa} = v_\varkappa$ das 'ideale' kritische Volumen ist

$$\frac{v_0}{v_\varkappa} = \frac{8}{3} = 2{,}67.$$

Die Beobachtungen fordern aber für dieses Verhältnis 3,7 oder höher, und somit liegt eine grosse, durch Beobachtungsunsicherheit sicherlich nicht erklärbare Differenz vor.

Die nächste Frage ist, ob man eine bessere Übereinstimmung dadurch herbeiführen kann, dass man die Voraussetzung $b =$ const. fallen lässt; denn wenn wir b nicht als unabhängig vom Volumen ansehen, so müssen die Bedingungen für den kritischen Zustand

$$\left(\frac{dp}{dv}\right)_{\vartheta = c} = 0 \qquad \text{und} \qquad \left(\frac{d^2p}{dv}\right)_{\vartheta = c} = 0$$

zu anderen Beziehungen zwischen den kritischen Grössen führen, als die van der Waalsschen Gleichungen ergeben.

Wählt man die erweiterte Form der Zustandsgleichung, wie sie die theoretischen Betrachtungen von van der Waals, G. Jäger und Boltzmann ergeben:

$$p = R\vartheta \frac{1}{v}\left(1 + \frac{b}{v} + \alpha\left(\frac{b}{v}\right)^2 + \ldots\right) - \frac{a}{v^2},$$

so zeigt sich, dass gleichgültig welchen Wert der Koeffizient α des quadratischen Gliedes haben mag, die Beziehungen für den kritischen Zustand das Verhältnis $\frac{v_o}{v_x} = 3$ ergeben und dass, wenn man vier oder mehr Glieder der Reihe mit notwendig positiven Faktoren α nimmt, der Wert dieses Verhältnisses nur kleiner wird.

Solange man also das Waalssche Kohäsionsgesetz $\frac{a}{v^2}$ festhält, kann man mit allen theoretisch begründeten Erweiterungen nur Werte für das Verhältnis $v_o : v_x$ berechnen, welche weit unter den thatsächlich beobachteten liegen.

Ich habe nun zwei Möglichkeiten gefunden, den Widerspruch zu beseitigen.

Die erste besteht darin, dass man das Gesetz des Kohäsionsdruckes durch

$$\pi = \frac{a}{v^{5/3}}$$

darstellt. Dann ergeben für den Fall $b =$ const. die Bedingungen des kritischen Zustandes die den Waalsschen Gleichungen ganz analogen

$$v_x = 4b; \quad p_x = \frac{a}{4 \cdot (4b)^{5/3}}; \quad \vartheta_x = \frac{15\,ab}{4 \cdot (4b)^{5/3} R}.$$

Dividiert man auch hier die dritte durch die zweite Gleichung und ersetzt b durch $\frac{1}{4} v_x$, so folgt

$$\frac{R\vartheta_x}{p_x v_x} = \frac{v_o}{v_x} = \frac{15}{4} = 3{,}75,$$

und das ist gerade diejenige Zahl, welche aus den Beobachtungen von Ramsay und Young sich ergiebt.

Lässt man die Annahme $b =$ const. fallen, so kann man mit Hilfe der erweiterten Zustandsgleichung auch höhere Werte berechnen. Die Theorie bietet also die Möglichkeit, das Auftreten grösserer Werte dieses Verhältnisses zu erklären durch die Annahme $b = f(v)$, ohne dass sie gezwungen wäre, auf mathematisch nicht darstellbare Annahmen von Polymerisationen ihre Zuflucht zu nehmen.

Meine Bemühungen, das rein empirisch gefundene Gesetz $\pi = \frac{a}{v^{5/3}}$ mechanisch zu deuten, führten mich dazu, die Grundanschauungen von van der Waals in etwas anderer Weise in die Theorie einzuführen und damit eine Verbindung herzustellen mit den Anschauungen von Clausius über den Verdampfungsvorgang, welche durch G. Jäger, W. Voigt und mich selbst beim Versuch, eine kinetische Theorie der Flüssigkeiten auszubilden, schon verarbeitet sind. Daraus ergab sich eine zweite Möglichkeit, über die Grössenverhältnisse im kritischen Zustand eine Aussage zu machen:

Denkt man sich zwischen den Molekülen eines Gases eine Kohäsionskraft wirkend, so wird eine Molekel inmitten des Gases keine einseitige Zugkraft erleiden, nähert sie sich aber einer Wand auf eine Distanz, die kleiner ist als ihre Wirkungsweite, so muss sie einem einseitigen Zug nach innen unterliegen, der ihre Geschwindigkeit verringert. Betrachten wir nun alle Molekeln, welche sich zur Wand hin bewegen, so werden die langsam sich bewegenden gar nicht zur Wand gelangen, weil sie nicht genug lebendige Kraft mit sich führen, die Arbeit gegen die Kohäsionskraft zu leisten; diese 'unbefähigten' Molekeln (Voigt) tragen also zum Druck nicht bei; es kommen nur die 'befähigten' Molekeln zur Wand hin und auch diese unter Verlust von kinetischer Energie. Die Theorie zeigt nun, dass

$$p = \frac{R\vartheta}{v-b} \cdot e^{-\frac{A}{R\vartheta}}$$

sein muss, worin A die Arbeit gegen die Kohäsionskraft ist. Macht man die Hypothese, dass diese Arbeit proportional der Dichte oder umgekehrt proportional dem Volumen sei, so entwickelt man aus

$$p = \frac{R\vartheta}{v-b} \cdot e^{-\frac{C}{R\vartheta}},$$

indem man die kritischen Gleichungen $\frac{dp}{dv} = 0$ und $\frac{d^2p}{dv^2} = 0$ bildet, bei der Annahme $b =$ const.

$$v_x = \frac{1}{2} b \qquad \frac{C}{R\vartheta_x v_x} = 2$$

$$\frac{R\vartheta_x}{p_x v_x} = \frac{v_o}{v_x} = \frac{1}{2} e^2 = 3{,}695.$$

Auch diese Berechnung giebt also das Verhältnis des idealen zum thatsächlichen kritischen Volumen in völliger quantitativer Übereinstimmung mit den Beobachtungen wieder. Auch hier ist naturgemäss die Möglichkeit gegeben, andere Verhältnisse durch die Annahme $b = f(v)$ zu berechnen.

Ich habe die beiden Darstellungsweisen objektiv nebeneinander entwickelt und hoffe durch Berechnung der Isothermen der verschiedenen Stoffe noch herausfinden können, welche von beiden sich am besten den Beobachtungen anschmiegt.

(Eingegangen 26. Oktbr. 1899.)

Diamagnetismus der Medien des Auges.

Von J. Mooser.

Ausgehend von dem Gedanken, es wäre nicht unwahrscheinlich, dass durch magnetische Kräfte die Form oder Lage der Krystall-Linse des Auges geändert, somit Kurzsichtigkeit oder Weitsichtigkeit geheilt werden könnte, habe ich im November 1898 orientierende Versuche über das magnetische Verhalten der Medien des Auges angestellt und gefunden, dass diese Medien diamagnetisch sind. Eine in Stücke geschnittene Linse eines Ochsenauges wurde in ein Papierröhrchen gebracht; im magnetischen Felde eines Elektromagneten für diamagnetische Versuche stellte sich das mit Linsensubstanz gefüllte Röhrchen äquatorial. Eine ganze Linse vor einem Pol eines Elektromagneten für ophthalmologische Zwecke (nach Professor Dr. Haab) an einem Faden aufgehängt, wurde von den vom Pol ausgehenden Kraftlinien abgestossen. Es ist deshalb denkbar, dass sich die Linse eines kurzsichtigen Auges durch längeres und öfteres Einwirken des Magnetismus, durch eine „magnetische Kur", etwas verflachen lässt, wodurch die Kurzsichtigkeit einigermassen oder vollständig korrigiert würde. Eine Änderung der Sehweite lässt sich, meiner Ansicht nach, nur erwarten von der Kraft eines Elektromagneten, dessen Eisenkern einen Durchmesser von etwa 40 cm besitzt. Der cylindrische, wenigstens auf einer Seite zugespitzte Eisenkern soll so durchbohrt sein, dass sich die Sehweite des vor der Spitze des Magneten sich befindlichen Auges während der Einwirkung der magnetischen Kraft bestimmen lässt.

Da ich wegen Erblindung die begonnenen Arbeiten nicht weiterführen kann, so ersuche ich hiermit die Herren Kollegen, die sich hierfür interessieren, genauere Untersuchungen über den Diamagnetismus der Augenmedien anzustellen.

St. Gallen (Schweiz), Oktbr. 1899.

(Eingegangen 28. Oktbr. 1899.)

Das Ostwaldsche Masssystem und die Abhängigkeit der Oberflächenspannung vom elektrischen Potential.

Von K. Schreber.

Ostwald hat im Jahre 1891 ein Masssystem vorgeschlagen,[1]) welches neben den Einheiten von Raum und Zeit als dritte Fundamentaleinheit die der Energie enthält. Ostwald führte damals schon aus, dass nach dem jetzigen Stande unserer Kenntnisse die Energie der einzige physikalische Begriff ist, von welchem bei vollständiger Beschreibung irgend einer Naturerscheinung notwendig die Änderung seines Betrages zahlenmässig angegeben werden muss. Es existieren zwar noch andere Begriffe, welche auch bei sämtlichen Naturerscheinungen zu beobachten sind, z. B. die Masse, die elektrostatische Kapazität u. ä., deren Betrag aber für die zahlenmässige Beschreibung gewisser Gruppen von Erscheinungen gleichgültig ist. Es ist deshalb notwendig, als dritte Einheit die der Energie zu wählen.

Man kommt aber, wie Ostwald auch gleich gezeigt hat, mit diesen drei Einheiten nicht aus, vielmehr muss auf jedem der verschiedenen Gebiete der Physik mit Ausnahme der reinen Mechanik noch für einen gerade dem betreffenden Gebiete speciell angehörenden Begriff eine Einheit besonders definiert werden.

Hierin scheint der Grund zu liegen, warum das Ostwaldsche Masssystem nicht die Anerkennung gefunden hat, welche ihm gebührt; denn das im Gebrauch befindliche sogenannte absolute Masssystem behauptet ja gerade mit nur drei fundamentalen Einheiten für die ganze Physik auszukommen. Ostwald hat nun damals schon nachgewiesen, dass diese Behauptung nur scheinbar begründet ist, und ich habe vor kurzem Gelegenheit genommen,[1]) zu zeigen, dass gerade das Haupterfordernis, welches man an ein Prinzip notwendig stellen muss, mit dessen Hilfe ein wissenschaftlich begründetes Masssystem definiert werden soll, von diesem sogenannten absoluten Masssystem nicht befriedigt wird.

Dieses Haupterfordernis besteht darin, dass, nachdem einmal das Prinzip aufgestellt, man auf ganz bestimmter, von jeder speciellen Willkür freien Weise zum Masssystem gelangen muss.

Das jetzt gebräuchliche absolute Masssystem lässt nun, wie ich durch einfache mathematische Discussion nachgewiesen habe, unendlich viele einander wissenschaftlich gleichberechtigte elektrische Systeme zu; wie das ja auch durch die Thatsache zum Ausdruck kommt, dass noch immer wieder neue Systeme vorgeschlagen werden. Es ist also das ganze Prinzip des absoluten Masssystems zu verwerfen.

Ein Prinzip, welches den eben aufgestellten Ansprüchen genügt, ist auf dem Gebiete der Wärmeenergie seit lange im Gebrauch. Nach dem Vorgange Lord Kelvins ist man in der Lage, eine Einheit der Temperatur zu definieren, welche ausschliesslich auf Gründen der Wärmelehre beruht: Der Wirkungsgrad eines umkehrbaren Prozesses ist ausschliesslich von der Differenz der Temperaturen abhängig, zwischen denen er vor sich geht. Setzen wir als Einheit

1) Ostwald, Leipziger Berichte 43. 1891, S. 277.

1) Schreber, Wied. Ann. 68. 1899, S. 607.

der Temperatur diejenige fest, für welche der Wirkungsgrad ½ beträgt, so erhalten wir eine Temperatureinheit, welche ausschliesslich in der Wärmelehre begründet und unabhängig ist von jeder speciellen Willkür, wie z. B. Wahl des Wassers als Normalstoff u. s. w.[1])

Stellen wir nun allgemein das Prinzip auf: „Die Einheit des Intensitätsfaktors irgend einer nichtmechanischen Energieform erhalten wir durch einen Kreisprozess zwischen zwei Quellen dieser Energieform von verschiedener Intensität, wenn der Zerstreuungsgrad ½ beträgt", und vereinigen dieses mit den Ostwaldschen Fundamentaleinheiten, so erhalten wir ein Masssystem, welches auf ganz bestimmte, von aller speciellen Willkür freie Weise zu physikalischen Einheiten führt.

Es ist nun die Aufgabe, derartige Kreisprozesse zu ersinnen und die so definierten wissenschaftlichen Einheiten mit den empirischen zu vergleichen. Der Weg dazu ist auch schon in der Wärmelehre angedeutet: Die im Kreisprozess umgewandelte Energie muss in eine mechanische Energieform umgewandelt werden, welche durch eine Zustandsgleichung mit dem zunächst empirisch gemessenen Intensitätsfaktor der untersuchten Energieform verbunden ist. In der Wärmelehre ist diese Zustandsgleichung die der Gase.

Um die Einheit des elektrischen Potentials zu finden, habe ich zunächst nach einer solchen Zustandsgleichung gesucht. Da die Wärmeenergie zum Volumen in derselben Beziehung steht, wie die elektrische Energie zur Oberfläche, so muss die Oberflächenenergie vom elektrischen Potential abhängig sein. Mensbrugghe hat eine solche Abhängigkeit nicht konstatieren können.[2])

Durch eine höchst empfindliche Differentialmethode, in welcher ein der Töplerschen Drucklibelle nachgebildetes Differentialmanometer zur Anwendung kam, ist es mir gelungen, nachzuweisen, dass bei konstanter Molekularoberfläche zwischen der Oberflächenspannung α von Seifenblasen und dem elektrischen Potential P derselben die Beziehung besteht

$$\alpha = \alpha_o (1 - c \cdot P^2).$$

Nimmt man als empirische Einheit des elektrischen Potentials das Volt und als wissenschaftliche Einheit der Oberflächenspannung Erg/cm^2, so ist

$$\frac{1}{c} = 35 \cdot 10^7.$$

Ich bin jetzt damit beschäftigt, einen Kreisprozess zu suchen, welcher den oben gestellten Anforderungen genügt, da der dem einfachen Carnotschen nachgebildete: Vergrösserung einer Oberfläche unter Verbindung mit einer Elektricitätsquelle, weitere Vergrösserung bei elektrischer Isolation, Verkleinerung bei Verbindung mit einer zweiten Quelle von Elektricität von geringerer Intensität und schliesslich weitere Verkleinerung bei elektrischer Isolation, bis der Ausgangszustand wieder erreicht ist, aus naheliegenden Gründen zu keinem Umsatz elektrischer Energie führt.

Greifswald, 27. Oktbr. 1899.

(Eingegangen 29. Oktbr. 1899.)

1) Schreber. Mitteilungen des naturw. Vereins Greifswald 29. 1898. S. 45. Wied. Ann. 64. 1898, S. 163.

2) Wiedemann, Elektricität 2. 1883, S. 135.

Methode, die Angaben elektrodynamischer Wattmeter unabhängig zu machen von der Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung.

Von Th. Des Coudres.

Die durch Gleichstromaichung nach der Formel

$$P = E \cdot J = C \cdot W_v \cdot \alpha \text{ Watt}$$

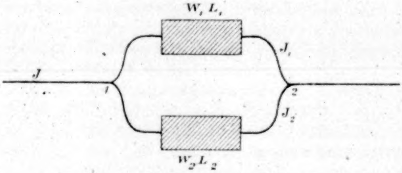
(P Leistung, E Spannung, J Hauptstromstärke, W_v Widerstand der Spannungsleitung, α Dynamometerablesung) erhaltene Wattmeterkonstante

$$C = \frac{E \cdot J}{W_v \cdot \alpha}$$

bedarf bei Verwendung des Instrumentes für Wechselstrom wegen der Selbstinduktion der Nebenschlussspule einer zwiefachen Korrektion. Einmal tritt an Stelle von W_v der Wechselstromwiderstand $\sqrt{W_v^2 + (2\pi n L_v)^2}$ und der Spannungsleitungsstrom fällt zu schwach aus, sodann bleibt er um den Winkel $\delta = arctg \frac{2\pi n L_v}{W_v}$ hinter der Spannung zurück und die Phasenverschiebung χ zwischen Strom und Spannung des Arbeit leistenden Stromteiles wird im Wattmeter zur Phasenverschiebung $\chi - \delta$ zwischen Amperestrom und Voltstrom. Der erste Korrektionsfaktor ist $\frac{1}{\cos \delta}$, der andere $\frac{\cos \chi}{\cos (\chi - \delta)}$. Den Gesamtkorrektionsfaktor $F = \frac{1 + tg^2 \delta}{1 + tg\delta \; tg\chi}$, wie man ihn meist schreibt, experimentell zu beseitigen, ist Blathky und Fleming nur durch Vorrichtungen gelungen, die wegen ihrer Kompliziertheit praktisch kaum Verwendung gefunden haben.

Günstiger gestalten sich die Verhältnisse, wenn wir einen bei konstanter Frequenz konstanten kleinen Korrektionsfaktor zulassen und nur den Fehler $\frac{\cos (\chi - \delta)}{\cos \chi}$ in Wegfall bringen wollen. Es verlohnt sich das, da dieser Fehler auch bei kleinem φ gross werden kann und vor allem, da die Phasenverschiebung χ zwischen Strom und Spannung im äusseren Stromkreise ja von vornherein unbekannt ist.

Wir versuchen den Hauptstrom $\mathfrak{J}$ vor Eintritt in die Amperewickelung des Dynamometers so zu verzweigen, dass der durch das Wattmeter fliessende Teil $\mathfrak{J}_1$ in der Phase hinter $\mathfrak{J}$ um δ, das heisst um ebensoviel zurückbleibt, wie der Strom in der Spannungsspule hinter der Spannung. Durch passende Wahl der Widerstände W_1, W_2 und der Selbstinduktionen L_1, L_2 beider Zweige ist das in der That möglich.[1])



$\mathfrak{J}_1$ bleibt hinter der Potentialdifferenz zwischen den Punkten 1 und 2 um

$$\vartheta_1 = arctg \frac{2\pi n L_1}{W_1} \quad \text{zurück.}$$

$\mathfrak{J}_2$ um

$$\vartheta_2 = arctg \frac{2\pi n L_2}{W_2}$$

$\mathfrak{J}_3$ um

$$\vartheta = arctg \frac{\frac{2\pi n L_1}{W_1^2 + (2\pi n L_1)^2} + \frac{2\pi n L_2}{W_2^2 + (2\pi n L_2)^2}}{\frac{W_1}{W_1^2 + (2\pi n L_1)^2} + \frac{W_2}{W_2^2 + (2\pi n L_2)^2}},$$

daraus folgt die Phasendifferenz der Ströme $\mathfrak{J}_1$ und $\mathfrak{J}$

$$\vartheta_1 - \vartheta = arctg \frac{W_2 . 2\pi n L_1}{W_1 W_2 + W_2^2 (2\pi n)^2 L_1 L_2 + (2\pi n L_2)^2}$$

und dies wird gleich

$$\delta = arctg \frac{2\pi n L_r}{W_r},$$

wenn einerseits

$$L_2 = 0$$

und ausserdem

$$\frac{L_r}{W_r} = \frac{L_1}{W_1 + W_2}$$

erfüllt ist. Wir haben den Nebenschluss zur Amperespule möglichst selbstinduktionsfrei und so gross zu wählen, dass sich die Selbstinduktion der Amperewindungen zur Summe des Widerstandes von Amperewindungen und Nebenschluss verhält, wie die Selbstinduktion der Spannungsleitung zu deren Widerstand. Alsdann fällt die Korrektion wegen der Phasenverschiebung δ zwischen Spannung und Strom der Spannungsleitung fort und zwar für beliebiges n. Die Angaben unseres Instrumentes werden proportional

$$\mathfrak{J}_1 . E \cos \chi \cos \delta,$$

statt proportional

$$\mathfrak{J} . E \cos \chi.$$

Es bliebe noch der Korrektionsfaktor anzubringen

$$\frac{\mathfrak{J}}{\mathfrak{J}_1} \frac{1}{\cos \delta} = \frac{1}{\cos^2 \delta \left(1 - tg\delta \frac{W_1}{2\pi n L_1}\right)}$$

wofür bei hinreichend kleinem W_1 meist

$$\frac{1}{(\cos \delta)^2}$$

wird gesetzt werden dürfen.

(Eingegangen 31. Oktbr. 1899.)

1) Aus Anlass der Anmeldung der angegebenen Methode zum Patente für technische Arbeitsmesser und -Zähler, teilt mir Herr G. Hummel mit, dass er diese Spaltung bereits im Jahre 1895 zum gleichen Zwecke ausgeführt hat. Doch ist wohl nichts darüber veröffentlicht worden.

VORTRÄGE ETC.

Über die Entwickelung der Methoden der theoretischen Physik in neuerer Zeit.

Von Ludwig Boltzmann.

(Fortsetzung.)

Ausser den die Körper zusammensetzenden ponderablen Atomen nahm man nämlich noch das Vorhandensein eines zweiten, aus weit feineren Atomen bestehenden Stoffes, des Lichtäthers, an und konnte durch regelmässige Transversalwellen des letzteren fast alle Lichterscheinungen erklären, die früher Newton der Emanation besonderer Lichtteilchen zugeschrieben hatte. Einige Schwierigkeiten blieben freilich noch, wie das gänzliche Fehlen longitudinaler Wellen im Lichtäther, welche doch in allen ponderablen Körpern nicht nur vorkommen, sondern dort geradezu die Hauptrolle spielen.

Unsere Kenntnis von Thatsachen auf dem Gebiete der Elektricität und des Magnetismus war durch Galvani, Volta, Oerstedt, Ampère und viele andere enorm erweitert und durch Faraday zu einem gewissen Abschlusse gebracht worden. Letzterer hatte mit verhältnismässig geringen Mitteln eine solche Fülle neuer Thatsachen gefunden, dass es lange schien, als ob sich die Zukunft nur noch auf die Erklärung

und praktische Anwendung aller dieser Entdeckungen werde beschränken müssen.

Als Ursache der Erscheinungen des Elektromagnetismus hatte man sich schon lange besondere elektrische und magnetische Flüssigkeiten gedacht. Ampère gelang die Erklärung des Magnetismus durch molekulare elektrische Ströme, wodurch die Annahme magnetischer Flüssigkeiten entbehrlich wurde, und Wilhelm Weber vollendete die Theorie der elektrischen Fluida, indem er sie so ergänzte, dass alle bis dahin bekannten Erscheinungen des Elektromagnetismus daraus in einfacher Weise erklärbar waren. Er dachte sich zu diesem Behufe die elektrischen Fluida gerade so aus kleinsten Teilchen bestehend, wie die ponderablen Körper und den Lichtäther, und zwischen den Elektricitätsteilchen auch ganz analoge Kräfte wirkend, wie zwischen denen der übrigen Stoffe, nur mit der unwesentlichen Modifikation, dass die zwischen je zwei Elektricitätsteilchen wirkenden Kräfte auch von ihrer relativen Geschwindigkeit und Beschleunigung abhängen sollten.

Während man daher in den ersten Zeiten ausser dem greifbaren Stoffe noch einen Wärmestoff, Lichtstoff, zwei magnetische, zwei elektrische Fluida etc. angenommen hatte, reichte man jetzt mit dem ponderablen Stoffe, dem Lichtäther, und den elektrischen Flüssigkeiten aus. Jeden dieser Stoffe dachte man sich bestehend aus Atomen, und die Aufgabe der Physik schien sich für alle Zukunft darauf zu reduzieren, das Wirkungsgesetz der zwischen je zwei Atomen thätigen Fernkraft festzustellen und dann die aus allen diesen Wechselwirkungen folgenden Gleichungen unter den entsprechenden Anfangsbedingungen zu integrieren.

Dies war die Entwickelungsstufe der theoretischen Physik beim Beginne meiner Studien. Was hat sich seitdem alles verändert! Fürwahr, wenn ich auf alle diese Entwickelungen und Umwälzungen zurückschaue, so erscheine ich mir wie ein Greis an Erlebnissen auf wissenschaftlichem Gebiete! Ja, ich möchte sagen, ich bin allein übrig geblieben von denen, die das Alte noch mit voller Seele umfassten, wenigstens bin ich der einzige, der noch dafür, soweit er es vermag, kämpft. Ich betrachte es als meine Lebensaufgabe, durch möglichst klare, logisch geordnete Ausarbeitung der Resultate der alten klassischen Theorie, soweit es in meiner Kraft steht, dazu beizutragen, dass das viele Gute und für immer Brauchbare, das meiner Überzeugung nach darin enthalten ist, nicht einst zum zweitenmal entdeckt werden muss, was nicht der erste Fall dieser Art in der Wissenschaft wäre.

Ich stelle mich Ihnen daher vor als einen Reaktionär, einen Zurückgebliebenen, der gegenüber den Neueren für das Alte, Klassische schwärmt; aber ich glaube, ich bin nicht borniert, nicht blind gegen die Vorzüge des Neuen, dem im folgenden Teile meines Vortrages Gerechtigkeit widerfahren soll, soweit mir dies möglich ist; denn ich weiss wohl, dass ich, wie jeder, die Dinge durch meine Brille subjektiv gefärbt sehe.

Der erste Angriff auf das geschilderte wissenschaftliche System erfolgte gegen dessen schwächste Seite, die Webersche Theorie der Elektrodynamik. Diese ist gewissermassen die Blüte der Geistesarbeit dieses genialen Forschers, der sich durch seine zahlreichen, in den elektrodynamischen Massbestimmungen und anderwärts niedergelegten Ideen und experimentellen Resultate die unsterblichsten Verdienste um die Elektricitätslehre erworben hat. Sie trägt jedoch bei allem Scharfsinne und aller mathematischen Feinheit so sehr das Gepräge des Gekünstelten, dass wohl stets nur wenige begeisterte Anhänger an ihre unbedingte Richtigkeit glaubten. Gegen sie wandte sich Maxwell unter rückhaltlosester Anerkennung der Verdienste Webers.

Die Arbeiten Maxwells kommen hier für uns in zweifacher Weise in Betracht: 1. der erkenntnistheoretische Teil derselben, 2. der speciell physikalische. In erster Beziehung warnte Maxwell davor, eine Naturanschauung bloss aus dem Grunde für die einzig richtige zu halten, weil sich eine Reihe von Konsequenzen derselben in der Erfahrung bestätigt hat. Er zeigt an vielen Beispielen, wie sich oft eine Gruppe von Erscheinungen auf zwei total verschiedene Arten erklären lässt. Beide Erklärungsarten stellen die ganze Erscheinungsgruppe gleich gut dar. Erst wenn man neuere, bis dahin unbekannte Erscheinungen zuzieht, zeigt sich der Vorzug der einen vor der anderen Erklärungsart, welche erstere aber vielleicht nach Entdeckung weiterer Thatsachen einer dritten wird weichen müssen.

Während vielleicht weniger die Schöpfer, als besonders die späteren Vertreter der alten klassischen Physik prätendierten, durch diese die wahre Natur der Dinge erkannt zu haben, so wollte Maxwell seine Theorie als ein blosses Bild der Natur aufgefasst wissen, als eine mechanische Analogie, wie er sagte, welche im gegenwärtigen Augenblicke die Gesamtheit der Erscheinungen am einheitlichsten zusammenzufassen gestattet. Wir werden sehen, wie einflussreich diese Stellungnahme Maxwells auf die weitere Entwickelung der Theorie wurde. Maxwell verhalf diesen theoretischen Ideen sofort zum Siege durch seine praktischen Erfolge.

Wir sahen, dass alle damals bekannten elektromagnetischen Erscheinungen erklärt waren

durch die Webersche Theorie, welche die Elektricität aus Teilchen bestehen liess, die ohne alle Vermittelung direkt in beliebige Entfernungen aufeinander wirken. Angeregt durch die Ideen Faradays, entwickelte nun Maxwell eine vom entgegengesetzten Standpunkte ausgehende Theorie. Nach dieser wirkt jeder elektrische oder magnetische Körper nur auf die unmittelbar benachbarten Teilchen eines den ganzen Raum erfüllenden Mediums, diese dann wieder auf die anliegenden Teilchen des Mediums, bis sich die Wirkung zum nächsten Körper fortgepflanzt hat.

Die bisher bekannten Erscheinungen wurden von beiden Theorien gleich gut erklärt; aber die Maxwellsche griff über die alte Theorie hinaus. Nach der ersteren mussten, sobald es nur gelang, genügend rasch verlaufende Elektricitätsbewegungen zu erzeugen, durch diese im Medium Wellenbewegungen hervorgerufen werden, welche genau die Gesetze der Lichtwellenbewegung befolgen. Maxwell vermutete daher, dass in den Teilchen leuchtender Körper beständig rapide Elektricitätsbewegungen vor sich gehen, und dass die hierdurch im Medium erregten Schwingungen eben das Licht sind. Das die elektromagnetischen Wirkungen vermittelnde Medium wird dadurch identisch mit dem schon früher erforderlichen Lichtäther, und wir können ihm daher wohl wieder diesen Namen beilegen, obwohl es vielfach andere Eigenschaften haben muss, um zur Vermittelung des Elektromagnetismus tauglich zu sein.

Warum man bei den bisherigen Versuchen über Elektricität keine derartigen Schwingungen bemerken konnte, lässt sich vielleicht in folgender Weise anschaulich machen. Wir wollen die flache Hand an ein ruhendes Pendel anlegen, langsam senkrecht zur Pendelstange, das Pendel hebend, nach derjenigen Seite bewegen, wo dieses anliegt, dann wieder zurück und schliesslich nach der anderen Seite ganz entfernen. Das Pendel macht, der Hand folgend, eine halbe Schwingung, aber es schwingt nicht weiter, weil die ihm erteilte Geschwindigkeit zu klein ist. Ein anderes Beispiel! Die Theorie nimmt an, dass beim Zupfen einer Saite ein Punkt der Saite aus der Ruhelage entfernt und dann plötzlich die ganze Saite sich selbst überlassen wird. Ich glaubte das als Student nicht, sondern meinte, der Zupfende müsse der Saite noch einen besonderen Stoss erteilen; denn wenn ich die Saite zuerst mit dem Finger ausbog und dann diesen in der Richtung, in der die Saite schwingen sollte, rasch entfernte, blieb diese stumm. Ich übersah, dass ich den Finger im Verhältnisse zur Raschheit der Saitenschwingungen viel zu langsam bewegte und so diese selbst aufhielt.

Gerade so wurden bei den bisherigen Versuchen die elektrischen Zustände im Vergleiche mit der enormen Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität, immer verhältnismässig viel zu langsam in andere übergeführt. Hertz fand nun nach mühevollen Vorversuchen, deren leitenden Gedankengang er selbst in der unbefangensten Weise schildert, gewisse Versuchsbedingungen, unter denen elektrische Zustände so rasch periodisch geändert werden, dass beobachtbare Wellen entstehen. Wie alles Geniale sind dieselben äusserst einfach. Trotzdem kann ich hier selbstverständlich auch auf diese einfachen experimentellen Einzelheiten nicht eingehen. Die so von Hertz unzweifelhaft durch elektrische Entladungen erzeugten Wellen unterscheiden sich, wie Maxwell vorausgesagt hatte, qualitativ nicht im mindesten von den Lichtwellen. Aber wie gross ist der quantitative Unterschied!

Wie beim Schalle die Tonhöhe, so wird beim Lichte bekanntlich die Farbe durch die Schwingungszahl bestimmt. Im sichtbaren Lichte sind etwa 400 Billionen Schwingungen in der Sekunde im äussersten Rot, 800 Billionen im äussersten Violett die extremsten Schwingungszahlen. Man hatte schon lange ganz gleichartige Ätherwellen entdeckt, wobei bis etwa 20 mal weniger als im äussersten Rot und bis etwa dreimal so viel Schwingungen in der Sekunde als im äussersten Violett erfolgen. Sie sind für das Auge unsichtbar; aber die ersteren, die sogenannten ultraroten, durch ihre Wärmewirkung, die letzteren, die ultravioletten, durch chemische und phosphorescenzerzeugende Wirkung erkennbar. In den von Hertz durch wirkliche Entladung erzeugten Wellen erfolgten in der Sekunde nicht mehr als etwa 1000 Millionen Schwingungen, und Hertz' Nachfolger kamen bis etwa auf das Hundertfache.

Dass Schwingungen, die im Verhältnisse zu den Lichtschwingungen so langsam geschehen, nicht direkt mit dem Auge gesehen werden können, ist selbstverständlich. Hertz wies sie durch mikroskopisch kleine Fünkchen nach, die sie sogar in grossen Entfernungen in passend geformten Leitern erzeugen. Letztere könnte man daher als Augen für Hertzsche Schwingungen bezeichnen. Mit diesen Mitteln bestätigte Hertz die Maxwellsche Theorie bis ins kleinste Detail und, wiewohl man versuchte, auch aus der Fernwirkungstheorie zu elektrischen Schwingungen zu gelangen, so war doch die Überlegenheit der Maxwellschen Theorie bald niemandem mehr zweifelhaft, ja wie Pendel nach der entgegengesetzten Seite über die Ruhelage hinausgehen, so sprachen schliesslich die Extremsten von der Verfehltheit aller Anschauungen der alten klassischen Theorie der Physik. Doch davon später! Vorher wollen wir noch ein wenig bei diesen glänzenden Entdeckungen verweilen.

(Fortsetzung im nächsten Heft.)

VORTRÄGE UND DISCUSSIONEN

von der 71. Naturforscherversammlung zu München.

A. Binz und Aug. Hagenbach, Über reduzierende Wirkung elektrolytisch abgeschiedener Metalle. (Vorgetragen von Hagenbach.)

Die Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, warum nascierender Wasserstoff, elektrolytisch unter verschiedenen Umständen entwickelt, ungleich rasch reduziert. Als zu reduzierende Substanzen dienten Farbstoffe (Diaminreinblau, Patentblau und Ponçeau) in alkalischer und neutraler Lösung. Es wurden immer in demselben Stromkreise zwei verschiedene Zellen miteinander verglichen, deren Inhalt während der Versuche durch gleichgehende Rührwerke in Bewegung gehalten wurde. Die Versuche ergaben, dass die Reduktionswirkung (durch Entfärbung der Lösung gemessen) immer rascher verlief, wenn man aus der Kali- oder Natronlauge das Metall so abschied, dass es von der Quecksilberkathode aufgenommen, d. h. wenn das Metall nicht vom Wasser zersetzt wurde. Dieser Unterschied in der Reduktionswirkung wurde bei geringeren Stromstärken immer ein bedeutender. Die wahrscheinlichste Erklärung hierfür ist die, dass die Metalle selbst sich an der Reduktion beteiligen, d. h. dass die Metalle selbst in die Verbindung eintreten und zwar leichter wie Wasserstoff und dadurch die Reaktion beschleunigen. Während bei Kalium und Natrium diese Wirkung chemisch noch sehr plausibel erscheint, so ist es doch schon auffallender, dass Zink aus Zinkoxyd-Kalilösung an Quecksilber abgeschieden ebenfalls sehr viel stärker reduziert, wie Kalium an einer Kupfer- oder Platinkathode. Auch hier ist die beste Erklärung die direkte Metallwirkung des Zinks. Diese Beteiligung der Metalle selbst an der Reduktion dürfte viele von den beobachteten Unterschieden erklären.

(Selbstreferat des Vortragenden.)

(Eingegangen 27. Septbr. 1899.)

Discussion (von den Beteiligten durchgesehen).

J. Tafel (Würzburg). Bei Arbeiten über den Verlauf elektrolytischer Reduktionen in schwefelsaurer Lösung, über welche ich vor der chemischen Sektion vorgetragen habe, welche aber die eben gehörten wenig berühren, weil ich mit hohen, Herr Hagenbach mit sehr niederen Stromstärken gearbeitet hat, habe ich mir, als die anscheinend einfachste, folgende Ansicht über das Wesen solcher Reduktionen gebildet. Ich nehme an, dass die Reduktion innerhalb der Flüssigkeit erfolgt, und zwar an einer Grenzschicht an der Kathode, deren Dimensionen durch die Bedingung bestimmt sind, dass in ihr die Ionen die Möglichkeit haben müssen, ihre Ladung an die Kathode abzugeben. Innerhalb dieser Flüssigkeitsschicht ist der Reduktionsverlauf ausschliesslich durch Reaktionskonstante und durch die Konzentrationen der Agentien bestimmt, als welche der zu reduzierende Körper, andererseits die reduzierenden Ionen, seien es nun Wasserstoff- oder Metallionen, auftreten. Damit würde jede Schwierigkeit der Erklärung verschiedener Reduktionswirkung bei An- oder Abwesenheit von Zinkionen ebenso entfallen, wie die mehrfach hervorgehobene der Erklärung kräftig reduzierender Wirkungen in alkalischer Lösung.

v. Öttingen (Leipzig). Es ist gesagt worden, dass die Reduktion stattfindet durch die Wirkung von Metallen. Ich denke, wir dürfen solche Substanzen nicht Metalle nennen, sondern Ionen.

Binz (Bonn). Das Wesen unserer Versuche bestand darin, dass wir in hintereinander geschalteten Zellen äquivalente Mengen abschieden, und zwar bei verschiedenen Stromstärken und verschiedener Konzentration der Reagentien. Auf diese Weise wurde eine von den Reaktionsbedingungen unabhängige Vergleichung der Metallwirkung und Wasserstoffwirkung ermöglicht, wobei die erstere stets überwog. Zu bemerken ist noch, dass die Reduktion durch Metalle bei solchen Körpern erfolgte, die dabei keinen Sauerstoff abgeben. Man muss daher, falls unsere Auffassung die richtige ist, auf das Entstehen metallhaltiger Zwischenprodukte schliessen.

Personalien.

Als Nachfolger von Lord Kelvin, der von seiner Lehrthätigkeit zurückgetreten ist, auf dem Lehrstuhl der Natural-Philosophy an der Universität Glasgow ist Prof. Andrew Gray bestimmt worden.

A.-o. Prof. Dr. H. Ambronn von der Universität Leipzig wurde zum a.-o. Professor an der Universität Jena ernannt. Ambronn, der das Fach der Mikroskopie vertritt, ist zugleich als wissenschaftlicher Mitarbeiter in die Firma Karl Zeiss in Jena eingetreten.

Für die Redaktion verantwortlich Dr. H. Th. Simon in Göttingen. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.